Cuma. Declinazioni del digitale

Leopoldo Repola

Abstract

Il sito archeologico di Cuma, fondato nella seconda metà dell'VIII secolo a.C., è una delle più importanti e antiche colonie greche del Mediterraneo occidentale. Divisa nella città alta e bassa, comprende una varietà di elementi come le mura greche della fine del V secolo a.C., i resti del Tempio di Apollo, il Tempio di Giove, la Cripta Romana, le terme e il Foro. Il sito archeologico è anche noto per l'Antro della Sibilla, uno degli oracoli più consultati del mondo antico. Le attività di digitalizzazione condotte su ampie aree del sito sono state definite in rapporto ai diversi obiettivi della ricerca, consistenti in: studio geometrico-formale delle strutture architettoniche della città con particolare riferimento ai contesti dell'Antro della Sibilla e della Cripta Romana; rilievo degli stati fessurativi delle cavità, mappatura e analisi geomeccanica del duomo di lava del versante ovest del sito; sviluppo di un progetto di allestimento per la comunicazione dei risultati delle ricerche archeologiche ivi condotte negli ultimi anni. La ricerca ha quindi richiesto una dettagliata pianificazione delle attività di rilievo sul campo e di elaborazione dei dati, fortemente connesse all'approccio interdisciplinare dato al progetto e alla complessità degli obiettivi preposti. I modelli prodotti sono stati gestiti all'interno di un unico spazio digitale georeferenziato, a cui è stata associata una piattaforma GIS per la catalogazione e condivisione dei dati.

Parole chiave
Digitalizzazione 3D, rappresentazione, exhibit design, analisi dei dati tridimensionali

Grafica dell'allestimento Terra. Fotografia dell'autore.

doi.org/10.3280/oa-832-c118

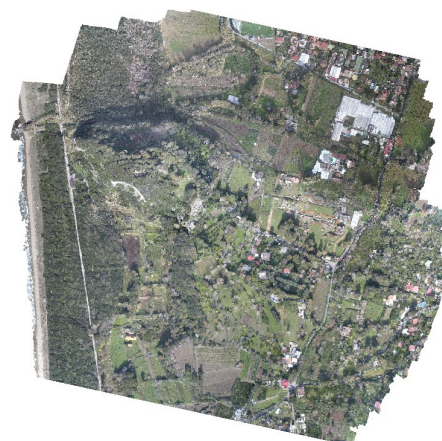
Introduzione

La ricerca che si sta conducendo a Cuma ha per noi una doppia valenza, scientifica e simbolica. Scientifica perché qui si stanno sperimentando innovative procedure di analisi di un sito complesso, che includono diversi settori della ricerca scientifica. Simbolica perché intende verificare come il dato digitale, "virtuale", possa definire per mezzo del progetto nuove forme di analisi e valorizzazione del sito dove, secondo il mito, giunse Dedalo. Cuma fu fondata nell'VIII secolo a.C. dai greci dell'Eubea per la fertilità delle sue terre, per la resistenza e la lavorabilità del suo tufo, per le forme delle sue coste aperte da baie e lambite da laghi, caratteri legati alla natura vulcanica dei suoli, che hanno da sempre determinato la sua forza come la sua fragilità.
L'eccezionale natura dei luoghi e l'ampia tipologia di dissesti rilevati ha richiesto la definizione di una metodologia di intervento fortemente interdisciplinare, che ha incluso le fasi preliminari di studio geologico e archeologico in una più ampia procedura di generazione e management dei dati. Sin dal principio, infatti, è stata predisposta una piattaforma GIS per la gestione e la correlazione dei dati alfanumerici, raster e vettoriali, già definita all'interno di un modello logico a supporto dei tools di *spatial analysis* e di *managing* dei dati geospaziali. Per tale motivo è stata pianificata una campagna di digitalizzazione 3D dell'intera area archeologica mediante UAV ad integrazione dei dati SAR già in nostro possesso, a partire dalla quale è stato eseguito un programma di rilievo laser scanner delle aree oggetto di indagini, integrato da fasi di acquisizione fotogrammetrica da terra e per mezzo di scanner a luce strutturata di elementi di dettaglio. Tutte le nuvole di punti generate sono state allineate in un unico sistema di riferimento georiferito per mezzo di target rilevati mediante stazione totale e GPS differenziale.

Metodi

I complessi fenomeni di instabilità strutturale e la complessità geometrico-formale di Cuma, entrambi legati al fatto che il sito sorge in un'area interessata in passato da intensa attività vulcanica e dall'avere al suo interno architetture non costruite con tecniche convenzionali, ma scavate direttamente nel tufo, ha reso necessario un articolato progetto di diagnosi al fine di indagare le cause dei dissesti all'interno del più esteso contesto geologico e di avviare un articolato studio sulle fasi di impianto e trasformazione degli spazi ipogei, con particolare riferimento all'Antro della Sibilla e alla c.d. Cripta Romana. In particolare, le indagini hanno riguardato l'intero promontorio tufaceo e lavico, rapportandolo sia ai fenomeni causati dalle attività endogene presenti nell'area, che al complesso sistema di interventi realizzati dall'uomo, entrambi colti all'interno della loro progressione temporale.
La metodologia di digitalizzazione applicata si fonda su un approccio rigorosamente interdisciplinare, in cui le scienze storico-archeologiche, geologico-strutturali e diagnostiche contribuiscono in maniera correlata alla produzione delle informazioni, rigorosamente gestite ed implementate in piattaforme digitali. È stato, quindi, effettuato un rilievo dell'intero sito archeologico mediante drone Phantom 4 Advanced, al fine di produrre un modello dell'orografia dell'area a integrazione dei dati LIDAR, già a nostra disposizione, e di mappare una rete estesa di Ground Control Points (GCPs), rilevati attraverso stazione totale, da integrare alla poligonale dei marker a supporto dei rilievi laser scanner. In tal modo è stato possibile gestire in un unico rilievo topografico georeferenziato l'insieme dei dati prodotti mediante: drone dell'intera area in cui insiste il sito; laser scanner tridimensionali a tempo di volo, Riegl VZ400i, per il rilievo dei manufatti architettonici e delle cavità (Fig. 01); scanner a luce strutturata Artec EVA per la digitalizzazione ad alta risoluzione degli stati fessurativi in punti specifici delle cavità e dei calendari lunari in prossimità dell'Antro e al suo interno; procedure fotogrammetriche mediante Nikon D810 per il rilievo di dettaglio del duomo lavico interessato da fenomeni di crollo.

Fig. 01. Fasi di rilievo della Cripta Romana. Fotografia dell'autore.

Fig. 02. Modello texturizzato dell'area archeologica prodotto mediante UAV. Immagine dell'autore.

Data processing

I dati prodotti mediante fotogrammetria da drone sono stati filtrati al fine di eliminare il rumore e oggetti di disturbo, è stata inoltre ridotta la densità dei punti in corrispondenza di aree coperte da fitta vegetazione in modo da garantire risoluzioni migliori in corrispondenza delle strutture architettoniche, delle aree di scavo e delle superfici tufacee (Fig. 02); dai punti sono state generate, inoltre, mesh texturizzate dalle quali sono state prodotte curve di livello e sezioni dell'intero sito ad una distanza progressiva di 50 cm. Similmente, le nuvole generate attraverso fotogrammetria terrestre sono state georiferite mediante *scalebar* in alluminio da 50 cm e 100 cm; tali procedure hanno riguardato aree di dettaglio interessate da dissesti con particolare riferimento alle pareti prospicienti l'ingresso all'Antro della Sibilla e al fronte di lava verso il mare. Le nuvole di punti, generate attraverso 165 posizione di presa, effettuate con il Riegl VZ400i, sono state tutte allineate restituendo il percorso completo dei collegamenti tra la città bassa, l'Antro, la Cripta Romana e le aree lungo la costa. L'elevato numero di scansioni e di aree rilevate ha richiesto una procedura di suddivisione del modello in quattro aree: Antro, Cripta (Fig. 03), fronte di lava, città bassa con percorsi. Successivamente, al fine di conservare livelli di risoluzione molto alti, le stesse aree sono state segmentate in superfici secondo livelli di uniformità dei punti e caratteristiche architettoniche degli spazi.

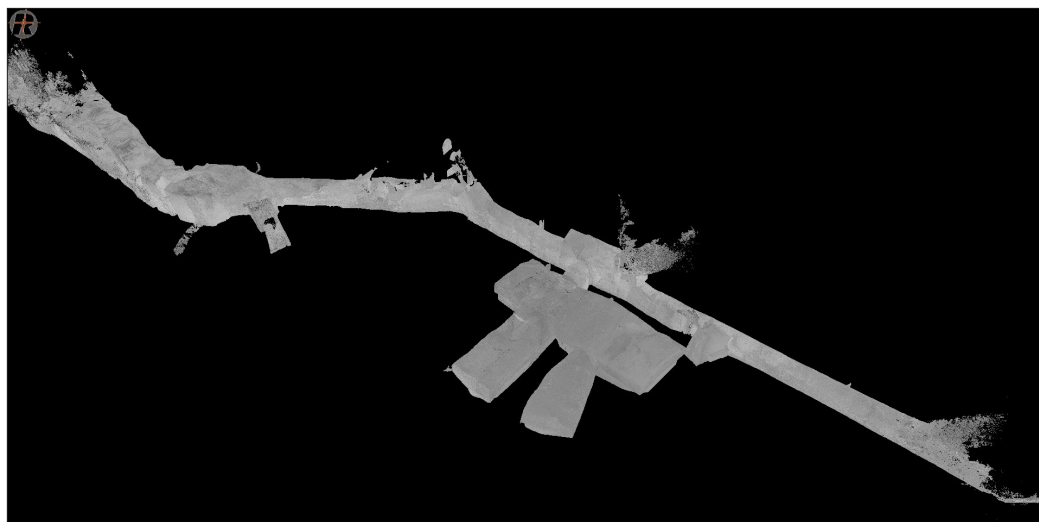



Fig. 03. Nuvola di punti relativa alla Cripta Romana. Immagine dell'autore.

Fig. 04. Porzione di modello poligonale texturizzato, interno dell'Antro. Immagine dell'autore.

Solo a questo punto a partire dalle porzioni di nuvola sono state generate le mesh e unite in blocchi riferiti alle diverse aree del sito, predisposti per i diversi usi (Fig. 04) consistenti in: registrazione e contestualizzazione dei dissesti al fine di individuarne le possibili cause e tracciare opportune strategie per la messa in sicurezza del monumento; caratterizzare e analizzare le strutture architettoniche riferibili alle cavità dell'Antro e della Cripta Romana; sviluppare strategie di visualizzazione e comunicazione dei dati a supporto della ricerca archeologica e della musealizzazione del sito.

Risultati

Studio delle architetture: la segmentazione dei modelli è stata effettuata in modo da individuare contesti omogenei per caratteristiche geologiche, con particolare riguardo ai versanti in lava e tufo, e architettonico-strutturali. Le porzioni del modello poligonale relative all'Antro della Sibilla, al Grottone e alla Cripta Romana sono state analizzate al fine di rilevare e caratterizzare nello spazio elementi in muratura, tracce di scavo sulle superfici tufacee e di riuso delle cavità. Sono state estratte piante, sezioni e prospetti a supporto della mappatura degli stati fessurativi, del rilievo degli spessori delle volte rispetto ai piani di campagna sovrastanti, della localizzazione delle aperture e dei pozzi presenti nella Cripta e nell'Antro (Fig. 05).

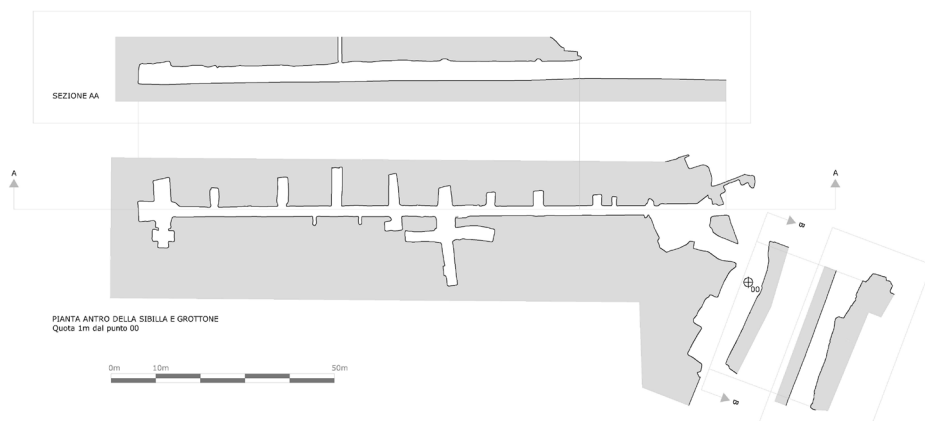



Fig. 05. Elaborati bidimensionali relativi all'Antro della Sibilla e al Grottone. Immagine dell'autore.

Sono state inoltre avviate attività di modellazione delle parti dell'Antro andate perdute e che verosimilmente lo raccordavo all'antistante spazio su cui si apre l'attuale percorso attraverso il Grottone. La modellazione ha previsto l'interpolazione del profilo della cavità con le geometrie delle aperture ancora leggibili nella parte basamentale del monumento, anche in rapporto agli effetti determinati sull'Antro dalla successiva realizzazione in epoca romana della Cripta. Il sistema di gestione dei dati è stato definito all'interno della piattaforma ArcGis Pro e garantirà una correlazione e interpolazione delle informazioni in ambiente tridimensionale, a supporto delle procedure di *spatial analysis* e di *managing* dei dati geospaziali.
Propagazione della caduta massi e suscettibilità: le attività di ricerca hanno avuto come obiettivo anche l'analisi della suscettibilità per fenomeni di crollo del versante occidentale del sito, a supporto di un piano di gestione in prospettiva di interventi di messa in sicurezza e di fruizione dell'intera area. L'analisi si è basata sulla ricostruzione 3D del versante per mezzo della fotogrammetria digitale terrestre. Le analisi geomeccaniche e strutturali sono state effettuate dai ricercatori del Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse (DiSTAR) dell'Università Federico II [De Stefano 2021] mediante il software ShapeMatrix 3D, utilizzando l'approccio *Structure from Motion*. Al fine di georeferenziare il modello, sono state ottenute le coordinate GPS di specifici *Ground Control Points* e sono state assegnate le coordinate assolute (sistema WGS84) ad ogni punto della nuvola utilizzando lo strumento SMX-Reference implementato in ShapeMatriX 3D. Una volta ottenuto il modello 3D georeferenziato, l'analisi strutturale e geomeccanica del versante è stata effettuata utilizzando lo strumento JMS-Analyst. Il software permette di effettuare misure geometriche direttamente sul modello 3D. I dati derivati dall'analisi strutturale sono stati utilizzati come base per implementare il test di Markland [Markland 1972] utile alla definizione delle caratteristiche di stabilità del pendio in termini di potenziale distacco. Analizzando le relazioni angolari tra le discontinuità e la superficie del pendio [Kliche 1999], sono state identificate le differenti condizioni potenziali di rottura, scorrimento a cuneo, scorrimento planare e ribaltamento. (Fig. 06)

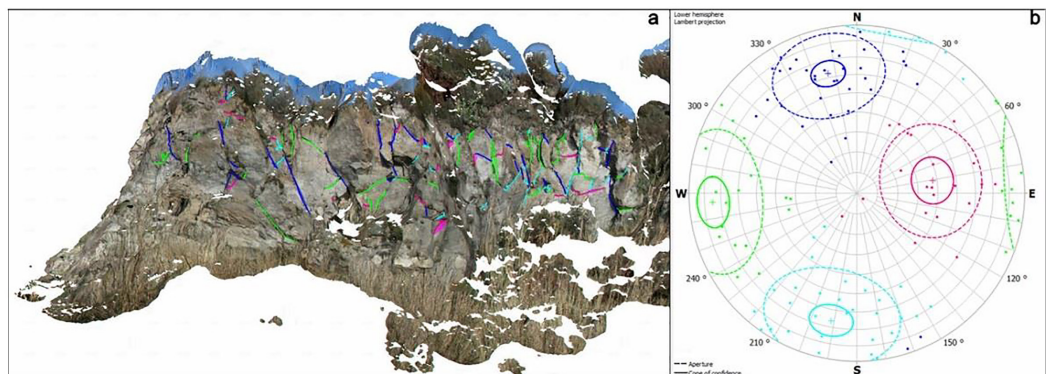



Fig. 06. (a) Discontinuità identificate attraverso la clustering analysis. (b) Diagramma polare dei cluster analysis. Immagine dell'autore.

Per effettuare l'analisi dei potenziali di invasione è stato utilizzato il plugin QPROTO, implementato in Qgis, il quale permette di identificare le aree più esposte al fenomeno della caduta massi tenendo conto delle caratteristiche topografiche del versante e di alcuni parametri empirici (volume di distacco, apertura angolare della traiettoria, *reach angle*). L'analisi di suscettibilità basata sulla propagazione condotta in ambiente GIS ha evidenziato le aree che potrebbero essere potenzialmente interessate dall'invasione per effetto di fenomeni di crollo, per le quali si richiedono interventi di messa in sicurezza e di consolidamento.
Exhibition design: Il progetto ha verificato, in fine, un innovativo approccio alla comunicazione dei dati scientifici prodotti sia dalle nostre procedure di digitalizzazione tridimensionale, sia dalle intense attività di scavo archeologico condotte dalle università e dai centri di ricerca che ivi operano.

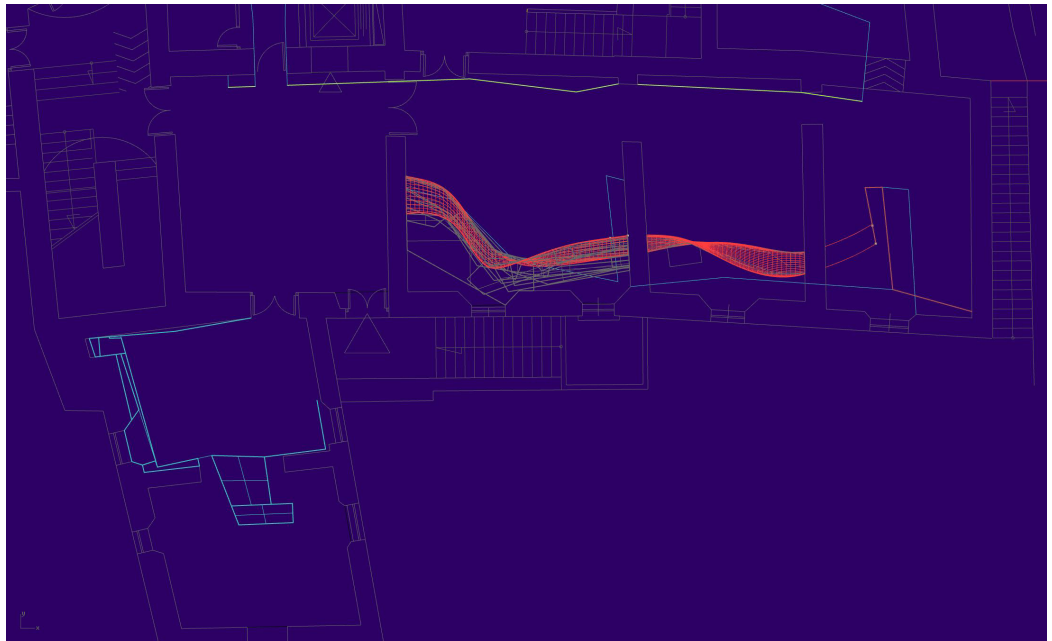



Fig. 07. Modello NURBS generato in Rhinoceros a partire dai modelli numerici da rilievo 3D. Immagine dell'autore.

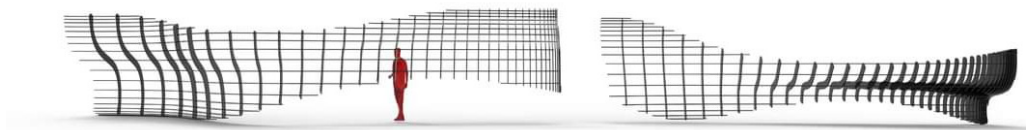



Fig. 08. Modello parametrico ottimizzato in Grasshopper. Immagine dell'autore.

Il progetto di musealizzazione ha uniformato i dati scientifici in un sistema di rappresentazione definito mediante condivisi livelli di informazione, all'interno del quale l'allestimento dei reperti è stato integrato in un unico sistema di comunicazione, declinato attraverso il design: dell'identità visiva e della grafica correlata; dei piani espositivi, le cui geometrie sono state estratte dai modelli numerici del contesto orografico del sito di Cuma; di contenuti digitali, resi mediante *video mapping* e *soundscape*. Il modello tridimensionale del territorio è stato scalato e orientato in modo da aderire agli spazi delle prime tre sale, a partire dal quale è stata generata una NURBS (Fig. 07), che, importata nel software parametrico Grasshopper, è stata a sua volta modellata in modo da ottenere una superfice dimensionalmente coerente con i possibili piani allestitivi (Fig. 08). Si è quindi proceduto al taglio delle superfici mediante 12 piani paralleli, le curve ottenute sono state rettificate e suddivise secondo quattro livelli, a ciascuno dei quali è stata attribuita un'epoca relativa alla storia di Cuma: età greca, età sannitica, età romana ed età tardoantica e medievale. Ciascun reperto è stato quindi modellato schematicamente nel software Rhinoceros, associato ad un layer e posizionato sulla rispettiva mensola secondo l'epoca di provenienza. Si è così provveduto alla modellazione dei piani delle mensole e all'ottimizzazione mediante Grasshopper delle profondità e delle altezze in rapporto all'ingombro dei reperti (Fig. 09). Infine, i disegni vettoriali delle mensole sono stati predisposti in aree di stampa coincidenti con le dimensioni reali dei pannelli in MDF (di spessore 1,8 cm), per la successiva fase di taglio mediante pantografo a controllo numerico. Ciascun gruppo di mensole è stato verniciato con un diverso tono di grigio riferito ai livelli temporali, in modo da rendere immediatamente comprensibile l'epoca di appartenenza dei reperti su di essi esposti. (Fig.10) A questo primo livello di informazioni ne è stato associato un secondo, consistente in grafiche e testi riferiti ai contesti dei reperti, applicati su supporti in cartongesso allestiti lungo le pareti in prossimità delle porte, in modo da garantire una continuità di lettura dei piani e degli spazi. (Fig.11)

Infine un terzo livello di informazioni è stato veicolato attraverso proiezioni mappate sui reperti architettonici esposti a parete, i contenuti video sono stati prodotti a partire dai rilievi di scavo, da cui sono stati prodotti schematici modelli ricostruttivi dei luoghi, in tal modo sommando alla percezione reale degli oggetti e degli spazi informazioni digitali multilivello di carattere scientifico. (Fig.12)

Fig. 09. Elaborazione delle geometrie rettificate dei supporti allestitivi. Immagine dell'autore.

Fig. 10. Allestimento in sala I. Fotografie del'autore.

Fig. 11. Grafiche e video mapping, sale 1, 2 e 3. Fotografia dell'autore.

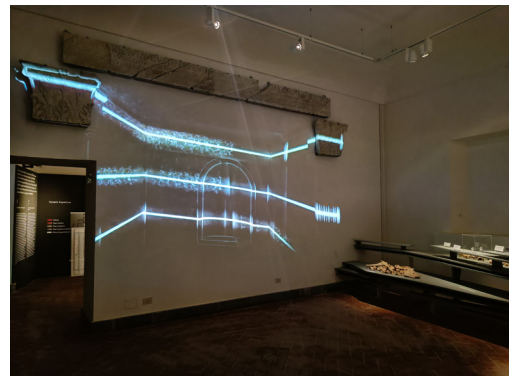



Fig. 12. Video mapping sui reperti architettonici, sala 2. Fotografia dell'autore.

Conclusioni

Il complesso degli interventi proposti ha fornito un'analisi approfondita del monumento mediante l'ausilio di piattaforme di visualizzazione e correlazione dei dati in ambiente digitale multilivello. Le procedure di digitalizzazione 3D hanno prodotto copie numerico-reali dei contesti archeologici e geologici a differenti gradi di definizione, che da un lato registrano i luoghi nell'attuale stato di conservazione, a memoria degli stessi in caso di calamità o eventi disastrosi, dall'altro permettono un'indagine approfondita del monumento a supporto delle attività di studio e dei necessari interventi di messa in sicurezza del sito.
Il piano di comunicazione dell'intero progetto, confluito nella mostra *TerRa*, è stato concepito con una forte valenza didattica e al fine di contribuire all'apprendimento di nozioni scientifiche da parte di differenti categorie di fruitori, con particolare riguardo agli studenti e ai bambini. A tal fine le sale sono state allestite attraverso soluzioni volte a una comunicazione integrata, in cui i piani di appoggio dei reperti restituiscono la sequenza stratigrafica ad essi associata, le grafiche (enfatizzate mediante pittogrammi ricavati dalle decorazioni dei reperti) sintetizzano, mediante testi e planimetrie esemplificate, le informazioni relative ai contesti di provenienza dei materiali archeologici, i contenuti multimediali in *video mapping* estendono i livelli di comunicazioni, contestualizzando i reperti architettonici per mezzo di rappresentazioni in scala degli spazi archeologici, i suoni ripercorrono le suggestioni di gesti custoditi nei tempi della terra.

Riferimenti bibliografici

Antinucci, F. (2007). *Musei virtuali*, Bari: Editori Laterza.

Bodo, S. (a cura di) (2003). *Il museo relazionale*, Torino: Edizioni della Fondazione Giovanni Agnelli.

De Stefano, "et al." (2021). Rockfall Threatening Cultural Heritage in the Cumae Archeo-logical site (Phlegrean Fields Park – Naples). In: Sustainability. < https://www.mdpi.com/2071-1050/13/3/1390> (consultato il 18 febbraio 2020).

Diodato, R. (2005). *Estetica del Virtuale*. Milano: Bruno Mondatori.

Giordano, A. (2015). Guardare/Fruire una mostra: il ruolo delle nuove tecnologie di rappresentazione. In Giordano, A., Rossi, M., Svalduz. E. (a cura di), *Costruire il Tempio*. Vol. 1, Carpi: APM.

Hall, E.T. (1988). *La dimensione nascosta,* Milano: Tascabili Bompiani.

Jaboyedoff, M., Labiouse, V. (2011). Preliminary estimation of rockfall runout zones. In *Natural Hazards and Earth System Sciences. 11*(3), 819.

Kliche, C.A. (1999). Rock slope stability. In S*ociety for Mining, Metallurgy, and Exploration.* (SME).
CO (US): Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., Littleton.

Levy, P. (1997). *Il virtuale.* Milano: Raffaello Cortina Editore.

Maldonado, T. (1998). *Reale e virtuale*. Milano: Feltrinelli.

Markland, J.T. (1972). *A useful technique for estimating the stability of rock slopes when the rigid wedge sliding type of failure is expected,* Imp. Coll. Rock Mech. Res. Rep. 19, London: Imperial College of Science and Technology.

Repola, L. (2018). Spazi coesistenti|Coexisting spaces. In: Salerno, R., *Drawing as (in) tangible representation,* Milano: Gangemi Editore International, pp.781-788.

Riemer, J.J., Bernadette, G.C. (2013). *Collaborative Access to Virtual Museum Collection Information: Seeing Through the Walls*. London: Routledge.

Robering, K. (a cura di). (2008). *Information Technology for the Virtual Museum: Museology and the Semantic Web*. Münster: LIT Verlag.

Unali, M. (2008). *Abitare Virtuale significa rappresentare*. Roma: Edizioni Kappa.

Zellner P. (1999). *Hybrid Space. New forms in digital architecture.* London: Thames & Hudson.

Autore
Leopoldo Repola, Università degli Studi di Napoli Federico II, leopoldo.repola@unina.it

Per citare questo capitolo: Repola Leopoldo (2022). Cuma. Declinazioni del digitale/ Cuma. Digital declension. In Battini C., Bistagnino E. (a cura di). *Dialoghi. Visioni e visualità. Testimoniare Comunicare Sperimentare. Atti del 43° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Dialogues. Visions and visuality. Witnessing Communicating Experimenting. Proceedings of the 43rd International Conference of Representation Disciplines Teachers.* Milano: FrancoAngeli, pp. 1835-1852.

Copyright © 2022 by FrancoAngeli s.r.l. Milano, Italy

Isbn 9788835141938

Cuma. Digital declension

Leopoldo Repola

Abstract

The Cumae Archaeological site, founded in the second half of the 8th century B.C., is one of the most important ancient, western Mediterranean, Greek colonies. Divided into an upper and a lower city, it includes a variety of elements like the Greek walls of the late fifth century B.C., the remains of the Temple of Apollo, the Temple of Jupiter, the *Cripta Romana,* the thermal baths and the Forum. The archaeological site is also known for the Cave of the Sibyl, one of the most consulted oracles of the ancient world. The digitization activities carried out on large areas of the site were defined in relation to the various research objectives, consisting of: geometric-formal study of the architectural structures of the city with particular reference to the contexts of the Cave of the Sibyl and the *Cripta Romana;* survey of the cracks in the cavities, mapping and geo-mechanical analysis of the lava dome on the west side of the site; development of a project for the communication of the results of archaeological research conducted there in recent years. The research has therefore required a detailed planning of field survey and data processing activities, strongly related to the interdisciplinary approach given to the project and to the complexity of the objectives set. The produced models were managed within a single georeferenced digital space, to which a GIS platform was associated for cataloging and sharing data.

Keywords
3D digitization, representation, exhibit design, three-dimensional data analysis

Graphics of the Terra exhibition. Photo by the author..

doi.org/10.3280/oa-832-c118

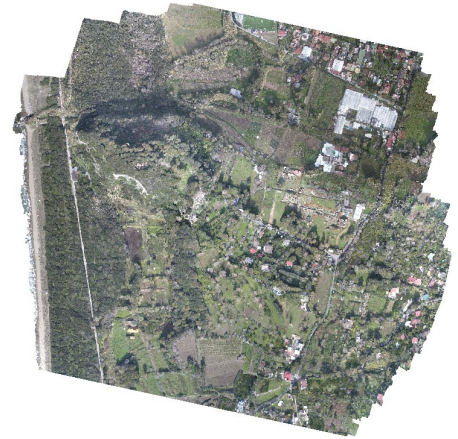
Introduction

The research that is being carried out in *Cumae* has a double value for us, both scientific and symbolic. Scientific due to the innovative procedures for the analysis of a complex site that are being tested here, which include various sectors of scientific research. Symbolic because it intends to verify how digital, "virtual" data can define throughout the project new forms of analysis and enhancement of the site where, according to the myth, *Daedalus* arrived. *Cumae* was founded in the eighth century BC by the Greeks of Euboea thanks to the fertility of its surrounding lands, for the resistance and workability of its tuff, for the shapes of its coastline with open bays and lapped by lakes, characters related to the volcanic nature of the soils, which have always determined its strength as its fragility.
The exceptional nature of the places and the wide typology of the detected instabilities required the finding of a strongly interdisciplinary research methodology, which included the preliminary phases of geological and archaeological study in a broader procedure for generating and managing data. Since the beginning, in fact, a GIS platform has been set up for the management and correlation of alphanumeric, raster and vector data, already defined within a logical model to support spatial analysis and geospatial data management tools.
For this reason, a 3D digitization campaign of the entire archaeological area was planned using UAVs to integrate the SAR data already in our possession, from which a laser scanner survey of the areas was carried out, integrated by phases of photogrammetric acquisition from the ground and by means of structured light scans of detailed elements. All the point clouds were aligned in a single geo-referenced system by means of targets detected by total station and differential GPS.

Methods

The complex phenomena of structural instability and the geometric-formal complexity of *Cumae*, both related to the fact that the site is located in an area affected in the past by intense volcanic activity and that the architectures are not built with conventional techniques but dug directly into the tuff, made it necessary to devise an articulated diagnostic project. In order to investigate the causes of instability within the wider geological context and to start a detailed study on the phases of construction and transformation of hypogean spaces, with particular reference to the Cave of the Sibyl and to the *Cripta Romana*. In particular, the investigations concerned the entire tuff and lava promontory, relating it both to the phenomena caused by the endogenous activities present in the area and to the complex system of interventions carried out by man, both captured within their temporal progression.
The applied digitization methodology is based on a strictly interdisciplinary approach, in which historical-archaeological, geological-structural and diagnostic sciences contribute in a correlated way to the production of information, rigorously managed and implemented within digital platforms.
A survey of the entire archaeological site was therefore carried out using the Phantom 4 Advanced drone, in order to produce a model of the orography of the area to integrate the already available LIDAR data.
In addition, an extensive network of Grounds Control Points (GCPs), measured by total station, was associated to the markers positioned to support the laser scanner surveys. In this way, it was possible to manage, in a single georeferenced topographic survey, the dataset produced.
The survey was carried out by: drone photography of the entire area in which the site is located; three-dimensional time-of-flight laser scanners, Riegl VZ400i, for surveying architectural artefacts and cavities (Fig. 01); Artec EVA structured light scanner for high-resolution digitization of the crack states in specific points of the cavities and lunar calendars near the Cave and inside it; photogrammetric procedures using Nikon D810 for the detailed survey of the lava dome affected by collapse phenomena.

Fig. 01. Survey phases of the Cripta Romana MANCA. Photo by the author.

Fig. 02. Textured model of the archaeological area made by UAV. Image by the author.

Data processing

The data produced through drone photogrammetry was filtered in order to eliminate noise and disturbing objects, the density of the points in correspondence with areas covered by dense vegetation was also reduced in order to guarantee better resolutions in correspondence with architectural structures, excavation areas and tuffaceous surfaces (Fig. 02); textured meshes were generated from the points, from which contour levels and sections of the entire site were produced at a progressive distance of 50 cm. Similarly, the point clouds generated by terrestrial photogrammetry were geo-referenced using aluminium scale-bars of 50 cm and 100 cm, these procedures concerned detailed areas affected by instability with particular reference to the walls facing the entrance to the Cave of the Sibyl and the lava front towards the sea. The point clouds, generated through 165 scan positions, carried out by a Riegl VZ400i, were all aligned, in order to survey the complete path of the connections between the lower city, the Cave, the *Cripta Romana* and the areas along the coast. The high number of scans and the extension of the area required a procedure to divide the model into four sections: Cave, Crypt (Fig. 03), lava front, lower city with paths. Subsequently, in order to maintain very high resolution levels, the same areas were segmented into surfaces according to levels of uniformity of the points and architectural features of the spaces.

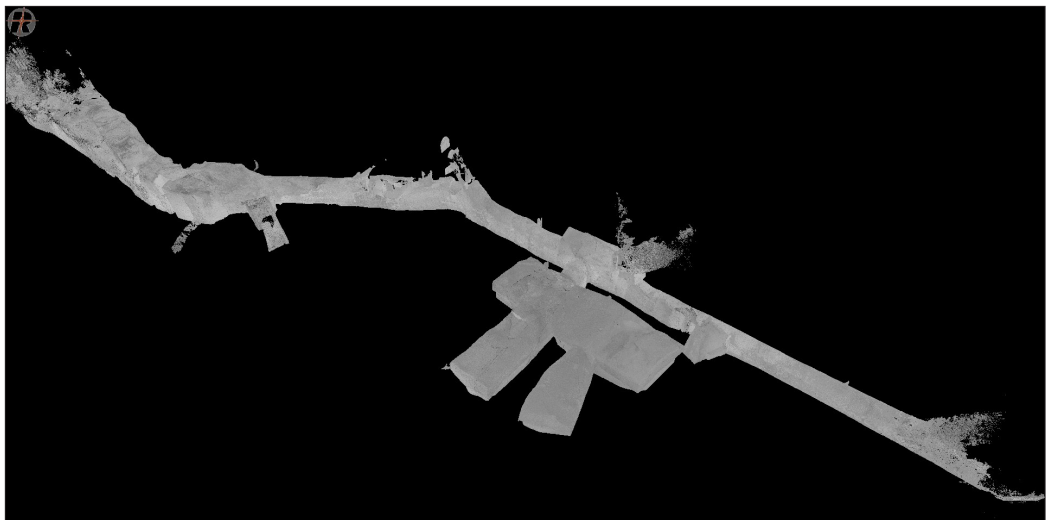



Fig. 03. Point cloud of the Cripta Romana. Image by the author.

Fig. 04. Portion of a textured polygonal model, inside the Cave. Image by the author.

Only at this point, starting from the portions of the cloud, the meshes were generated and joined in blocks referring to the different areas of the site and arranged for the different uses. (Fig. 04) These consisted of: registration and contextualization of instabilities in order to identify possible causes and outline appropriate strategies for the safety of the monument; characterize and analyse the architectural structures related to the cavities of the Cave and the *Cripta Romana*; develop data visualization and communication strategies to support archaeological research and site "museumization."

Results

Study of the architectures: The segmentation of the models was carried out in order to identify homogeneous contexts for geological characteristics, with particular regard to the lava and tuff slopes, and architectural-structural. The polygonal model parts relating to the Cave of the Sibyl, the *Grottone* and the *Cripta Romana* were analysed in order to detect and characterize masonry elements in space, traces of excavation on the tuff surfaces and reuse of the cavities. Plans, sections and elevations were extracted to support the mapping of the cracks, the survey of the vault's thickness, the location of the openings and wells present in the Crypt and in the Cave (Fig. 05).

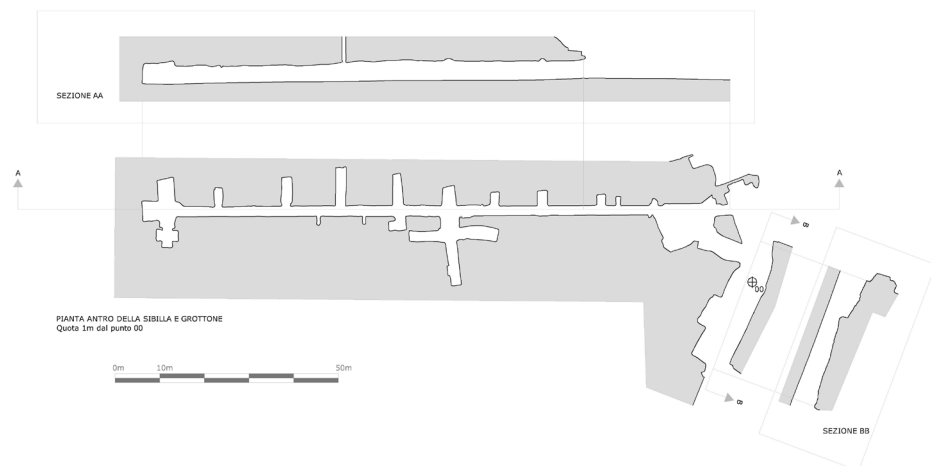



Fig. 05. Two-dimensional drawings relating to the Cave of the Sibyl and the Grottone. Image by the author.

Modelling activities have also been started on the parts of the Cave that have been lost and which probably connected it to the space on which the *Grottone* opens up. The modelling involved interpolating the profile of the cavity with the geometries of the openings still legible in the basement part of the monument, also in relation to the effects determined on the Cave by the subsequent construction of the *Cripta* in Roman times. The data management system has been defined within the ArcGis Pro platform and will ensure the correlation and interpolation of information in a three-dimensional environment, in support of spatial analysis and geospatial data management procedures.
Rockfall propagation and susceptibility: The research activities also aimed at the analysis of the susceptibility to rock fall of the western slope of the area, supporting a management plan in a site conservation and fruition perspective. The analysis began with a 3D reconstruction of the slope by means of digital terrestrial photogrammetry. Geo-mechanical and structural analyses were carried out by the researchers of the *Distar* of the *Federico II* University [De Stefano 2021] with ShapeMatrix 3D (©3GSM GmbH) software using Structure from Motion approach (SfM). In order to georeference the model, GPS coordinates of specific Ground Control Points (GCPs) were obtained and the absolute coordinates (WGS84 system) were assigned to each point of the cloud using the SMX-Reference tool implemented in ShapeMatriX 3D. Once the geo-referenced 3D model was obtained, the structural and geo-mechanical analysis of the slope was carried out using the JMS- Analyst tool. The software allows making geometric measurements directly onto the 3D model. Data derived by structural analysis were used as a basis for a Markland test [Markland 1972] oriented to the definition of the stability characteristics of the slope in terms of detachment potential. By analyzing the angular relationships between discontinuities and slope surface [Kliche 1999] the potential modes of failures were identified among wedge sliding, planar siding and non-flexural toppling. (Fig. 06)

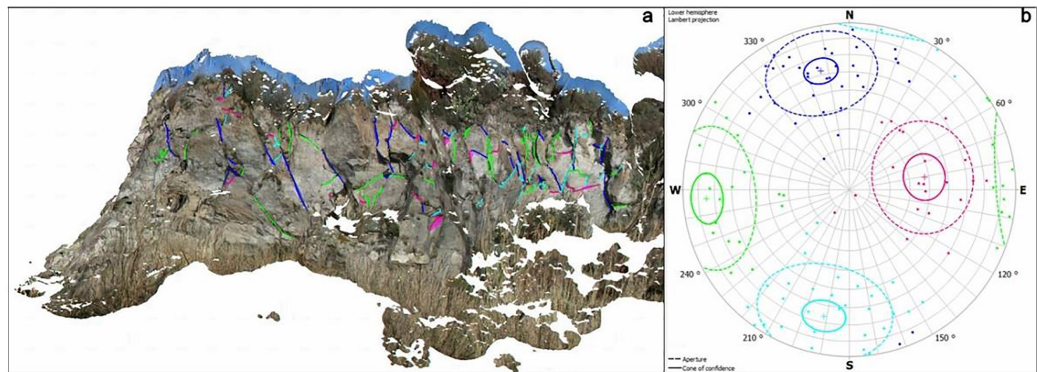



Fig. 06. (a) Discontinuity sets identified through clustering analysis. (b) Polar diagram showing cluster analysis results. Image by the author.

QPROTO plugin, implemented in Qgis, was used to produce the hazard analysis of the slope. This plugin allows to identify the areas most exposed to the rock fall phenomenon taking into account only the slope topography and some empirical parameters (detachment volume, angular opening of the trajectory, reach angle). Subsequently, a propagation-based susceptibility analysis was completed into a GIS environment, indicating the areas that could collapse, for which safety and consolidation interventions are required.
Exhibition design: Finally, the project verified an innovative approach to the communication of scientific data produced both by our three-dimensional digitization procedures and by the intense archaeological excavation activities carried out by the universities and research centers operating there. The museum project has standardized the scientific data in a representation system defined by shared levels of information, within which the exhibit of the findings has been integrated into a single communication system, developed through design: of visual identity and related graphics; of wooden support surfaces, whose geometries have been extracted from the numerical models of the orographic context of the *Cumae* site; of digital content, rendered through video mapping and soundscape.

Fig. 07. NURBS model generated by Rhinoceros starting from 3D numerical models. Image by the author.

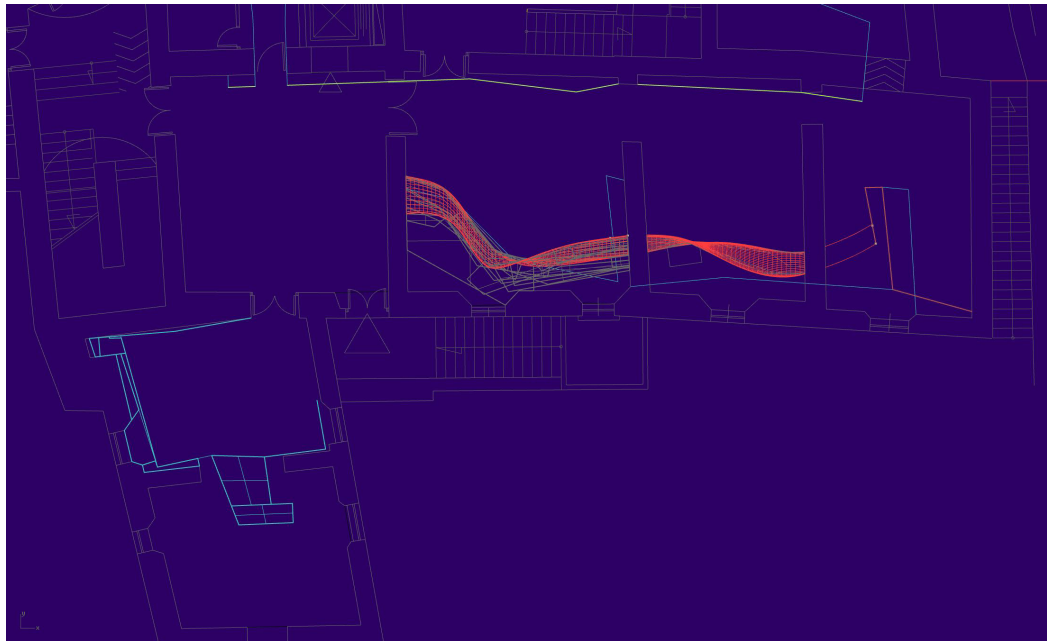
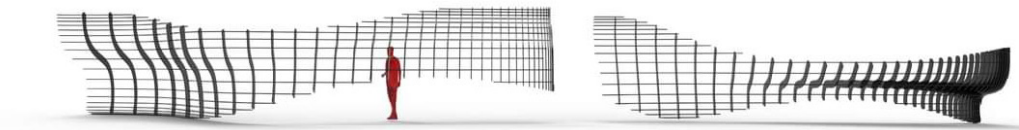



Fig. 08. Parametric model optimized by Grasshopper. Image by the author.

The three-dimensional model of the territory was scaled and oriented in order to adhere to the spaces of the first three rooms, from which a NURBS was generated (Fig. 07), which, imported into the parametric software Grasshopper, was in turn modelled in order to obtain a geometry dimensionally consistent with the possible support surfaces. (Fig. 08)
The surfaces were then cut through 12 parallel planes, obtained were rectified and divided according to four levels, each of which was attributed an era relating to the history of *Cumae:* Greek age, Samnite age, Roman age and late antique and medieval age. Each archaeological find was then schematically modelled in the Rhinoceros software, associated with a layer and positioned on the respective shelf according to the age of origin.
The modelling of the shelves and the optimization of the depths and heights, in relation to the dimensions of the finds, was thus carried out using Grasshopper (Fig. 09).
The vector drawings of the shelves were prepared in print areas coinciding with the real dimensions of the MDF panels (1.8 cm thick), for the subsequent cutting phase by means of a CNC pantograph. Each group of shelves was painted with a different shade of grey referring to the temporal levels, in order to make the age of belonging of the finds exposed on them, immediately understandable. (Fig.10)
This first level of information was associated with a second one, consisting of graphics and texts referring to the contexts of the finds, applied on plasterboard supports set up along the walls near the doors, to ensure a continuity of reading of the surfaces and spaces. (Fig.11)
Finally, a third level of information was provided through projections mapped onto the architectural finds exhibited on the wall, the video contents were produced starting from the excavation surveys, from which schematic reconstructive models of the places were produced, thus adding to the real perception of objects and spaces multi-level digital information of a scientific nature. (Fig.12)

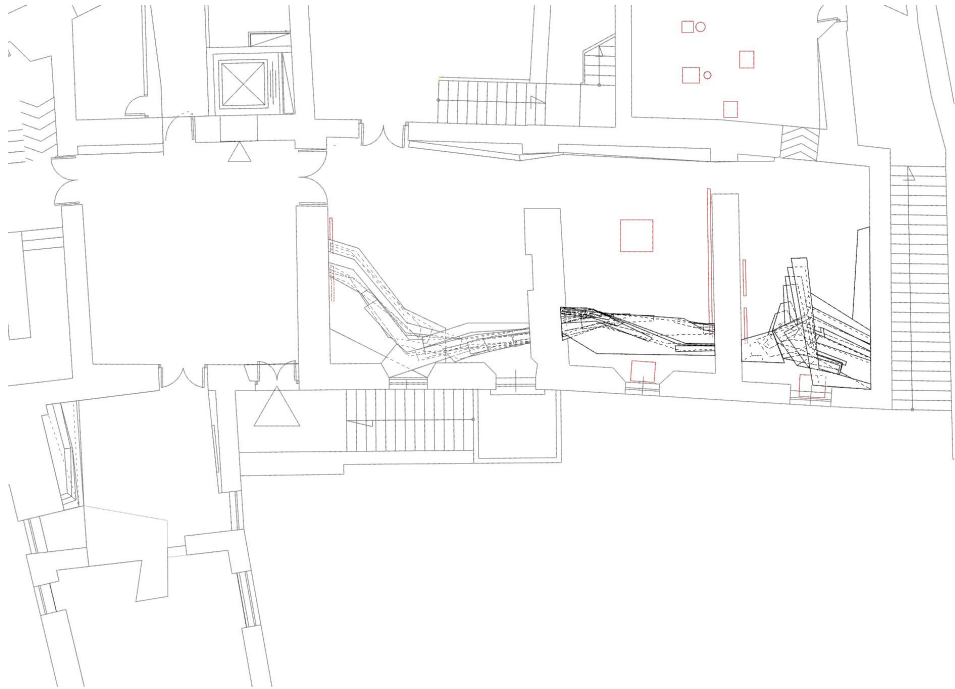



Fig. 09. Processing of rectified geometries of exhibition supports. Image by the author.

Fig. 10. Exhibition in room I. Photos by the author.

Fig. 11. Graphics and video mapping, rooms 1, 2 and 3. Photo by the author.

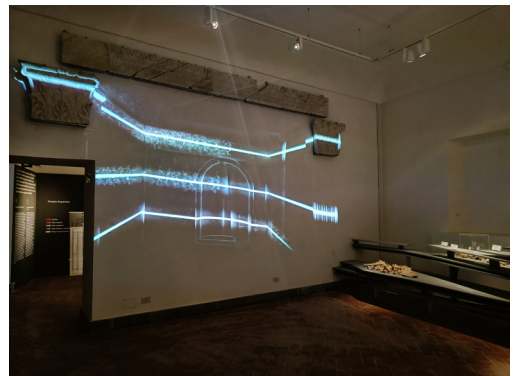



Fig. 12. Video mapping on architectural findings, room 2. Photo by the author.

Conclusions

The proposed activities provided in-depth analysis of the monument using data visualization and correlation platforms in a multilevel digital environment. The 3D digitization procedures have produced numerical-real copies of the archaeological and geological contexts with different degrees of definition. These on the one hand record the places in their current state of conservation, in memory of the same in case of calamity or disaster; on the other hand allow an in-depth investigation of the monument to support the study activities and the necessary interventions to secure the site.
The communication plan of the entire project, merged into the TerRa exhibition, has had a strong didactic value, in order to contribute to the learning of scientific concepts by different categories of users, with particular regard to students and children. To this end, the rooms were set up through solutions aimed at an integrated communication, in which the support surfaces of the finds show the stratigraphic sequence associated with them, the graphics (emphasized by pictograms taken from the decorations of the finds) summarize, through exemplified texts and maps, the information related to the contexts of origin of the archaeological materials. The multimedia contents (video mapping) extend the levels of communication, contextualizing the architectural findings by means of scale representations of archaeological spaces, the sounds retrace the suggestions of gestures kept in the time of the earth.

Reference

Antinucci, F. (2007). *Musei virtuali*, Bari: Editori Laterza.

Bodo, S. (a cura di) (2003). *Il museo relazionale*, Torino: Edizioni della Fondazione Giovanni Agnelli.

De Stefano, "et al." (2021). Rockfall Threatening Cultural Heritage in the Cumae Archeo-logical site (Phlegrean Fields Park – Naples). In: Sustainability. < https://www.mdpi.com/2071-1050/13/3/1390> (consultato il 18 febbraio 2020).

Diodato, R. (2005). *Estetica del Virtuale*. Milano: Bruno Mondatori.

Giordano, A. (2015). Guardare/Fruire una mostra: il ruolo delle nuove tecnologie di rappresentazione. In Giordano, A., Rossi, M., Svalduz. E. (a cura di), *Costruire il Tempio*. Vol. 1, Carpi: APM.

Hall, E.T. (1988). *La dimensione nascosta,* Milano: Tascabili Bompiani.

Jaboyedoff, M., Labiouse, V. (2011). Preliminary estimation of rockfall runout zones. In *Natural Hazards and Earth System Sciences. 11*(3), 819.

Kliche, C.A. (1999). Rock slope stability. In S*ociety for Mining, Metallurgy, and Exploration.* (SME).
CO (US): Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., Littleton.

Levy, P. (1997). *Il virtuale.* Milano: Raffaello Cortina Editore.

Maldonado, T. (1998). *Reale e virtuale*. Milano: Feltrinelli.

Markland, J.T. (1972). *A useful technique for estimating the stability of rock slopes when the rigid wedge sliding type of failure is expected,* Imp. Coll. Rock Mech. Res. Rep. 19, London: Imperial College of Science and Technology.

Repola, L. (2018). Spazi coesistenti|Coexisting spaces. In: Salerno, R., *Drawing as (in) tangible representation,* Milano: Gangemi Editore International, pp.781-788.

Riemer, J.J., Bernadette, G.C. (2013). *Collaborative Access to Virtual Museum Collection Information: Seeing Through the Walls*. London: Routledge.

Robering, K. (a cura di). (2008). *Information Technology for the Virtual Museum: Museology and the Semantic Web*. Münster: LIT Verlag.

Unali, M. (2008). *Abitare Virtuale significa rappresentare*. Roma: Edizioni Kappa.

Zellner P. (1999). *Hybrid Space. New forms in digital architecture.* London: Thames & Hudson.

Author
Leopoldo Repola, Università degli Studi di Napoli Federico II, leopoldo.repola@unina.it

To cite this chapter: Repola Leopoldo (2022). Cuma. Declinazioni del digitale/ Cuma. Digital declension. In Battini C., Bistagnino E. (a cura di). *Dialoghi. Visioni e visualità. Testimoniare Comunicare Sperimentare. Atti del 43° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/ Dialogues. Visions and visuality. Witnessing Communicating Experimenting. Proceedings of the 43rd International Conference of Representation Disciplines Teachers.* Milano: FrancoAngeli, pp. 1835-1852.

Copyright © 2022 by FrancoAngeli s.r.l. Milano, Italy

Isbn 9788835141938